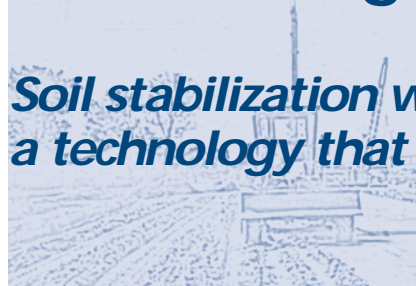


# La stabilizzazione delle terre con calce, una tecnologia da valorizzare

## Soil stabilization with lime: a technology that should be exploited



UGO DE GRANDIS  
Laboratorio Tecnologico Mantovano Srl

### Riassunto

Le agevolazioni introdotte dai nuovi provvedimenti legislativi in materia di riutilizzo delle terre provenienti dagli scavi aprono interessanti prospettive di riutilizzo di terre povere altrimenti destinate al conferimento in discarica. La tecnica di stabilizzazione con calce, estensivamente applicata nel nord Europa ma ancora vittima di pregiudizi in Italia, rappresenta una valida soluzione al fabbisogno di terre con elevate caratteristiche geotecniche per imprese per le quali l'approvvigionamento da cave di prestito è una rilevante voce di bilancio. E' una tecnologia vantaggiosa e capace di garantire sensibili risparmi, che deve tuttavia essere supportata dallo studio preliminare di laboratorio e da verifiche nel corso delle lavorazioni.

### Summary

*The facilitations introduced by the new legislative measures relating the reuse of excavated earth material open interesting perspectives on reuse of poor quality material otherwise destined to disposal.*

*The lime stabilization technique, widely used in North Europe but subject to some prejudices in Italy, offers a valid solution to satisfy requirements of earth with high geo-technical characteristics, for enterprises that have problems for the supply of similar material. This is a useful technique which produces a relevant cost reduction. It should be supported, in any case, by a preliminary laboratory study.*

## 1. Il Decreto "anticrisi"

La recente evoluzione legislativa in materia di terre e rocce provenienti da scavo ha introdotto nuove importanti opportunità di risparmio per le imprese di costruzioni. Il D.Lgs. 29 novembre 2008, n. 185, meglio noto come "Decreto anticrisi", che di fatto ha recepito la Direttiva comunitaria 2008/98/CE, esclude dalla definizione di "rifiuto" i materiali derivanti da demolizioni, così pure le terre e le rocce ottenute dai procedimenti di scavo.

Il disposto precedentemente in vigore prevedeva infatti che terre e rocce da scavo potessero essere impiegate solo se venivano seguite determinate condizioni.

In altre parole l'impresa doveva:

- ▶ individuare già in fase di progettazione gli interventi da effettuare con le terre;
- ▶ garantire l'integrale utilizzo della terra senza modificarne lo stato, con trattamenti atti ad assicurare il rispetto dei requisiti di compatibilità con l'ambiente;
- ▶ assicurare un elevato livello di tutela ambientale;
- ▶ dimostrare che le caratteristiche della terra non andassero a danneggiare il sito di produzione;
- ▶ reimpiegare la terra entro un anno, tranne i casi in cui essa veniva reimpiegata nello stesso sito di estrazione, nel qual caso il periodo si allungava a tre anni.

I requisiti dovevano essere verificati in sede di valutazione di impatto ambientale, di rilascio del permesso di costruire o secondo le modalità della DIA. A causa della complessità della procedura la maggior parte del- ➤

le Imprese preferiva sottrarsi alle soggezioni amministrative per trattare come rifiuto anche della terra vergine perfettamente riutilizzabile, affrontando così i costi per il trasporto in discarica delle terre di scavo e ulteriori costi per l'approvvigionamento di terre pregiate da cave di prestito.

Con le modifiche introdotte dall'articolo 20 del D.Lgs. n. 185 il materiale da scavo, come pure i materiali di risulta derivanti da prospezioni, dallo sfruttamento di cave o dall'attività di industrie estrattive possono essere reimpiegati in rinterri, rimodellazioni e rilevati purché non siano contaminati e vengano riutilizzati nello stesso luogo dell'estrazione.

Nell'esempio proposto dalle riviste del settore il risparmio per un cantiere di medie-piccole dimensioni è stimato in circa 20 mila euro.

Le nuove opportunità di riutilizzo del terreno estratto da scavi per opere d'arte e fondazioni, sbanamenti, trivellazioni per pali di fondazione e altro, oltre a sollevare le Imprese dagli oneri per lo smaltimento contribuiscono ad alleggerire la viabilità dal traffico dei mezzi adibiti al trasporto in discarica del rifiuto e all'approvvigionamento di terre sostitutive da cave di prestito.

L'importante agevolazione comporta, tuttavia, la necessità di un'attenta valutazione delle caratteristiche delle terre disponibili in funzione dell'impiego desiderato. Se, infatti, i misti naturali non plastici o debolmente plastici trovano una immediata utilizzazione, terre fini con elevata plasticità necessitano di un efficace intervento di stabilizzazione prima di essere impiegate in opere stradali o paesaggistiche.

Da questo punto di vista il trattamento di stabilizzazione con calce, preceduto dall'accurata selezione e valutazione delle terre escavate, offre un valido aiuto all'Impresa, garantendo il bilancio terre in cantieri anche di grandi dimensioni dove vi siano importanti quantità di movimento terra, a patto che siano rispettati alcuni principi fondamentali, riassunti nel seguito.

## 2. Una tecnologia "povera"

Il trattamento delle terre con calce è da decenni una tecnologia sviluppata in gran parte dei Paesi europei la cui efficacia è stata validata anche in Italia da importanti realizzazioni, anche se ancor oggi trova ostacoli, da parte di taluni Enti, alla sua utilizzazione ad ampio raggio. Per quanto riguarda la normativa, si richiama la circostanza che dal 2006, assieme al Bollettino Ufficiale del CNR n. 36, è disponibile anche la Norma europea UNI EN 14227-11 "Miscele legate con leganti idraulici. Terreno trattato con calce".

Il trattamento a calce trova la sua migliore espressione con le terre argillose aventi indice di plasticità superiore a 10, non altrimenti impiegabili in opere stradali. Possono essere trattate a calce anche terre ghiaio-argillose purché presentino un passante al setaccio 0,4 mm non inferiore al 35%. L'azione della calce comporta infatti una modifica della struttura della terra grazie allo scambio ionico che avviene tra la calce e i minerali dell'argilla, con effetti immediati e a medio-lungo termine. Dopo poche ore si osserva una riduzione dell'umidità, grazie allo sviluppo di calore prodotto dalla reazione. Successivamente diminuiscono la plasticità della terra e

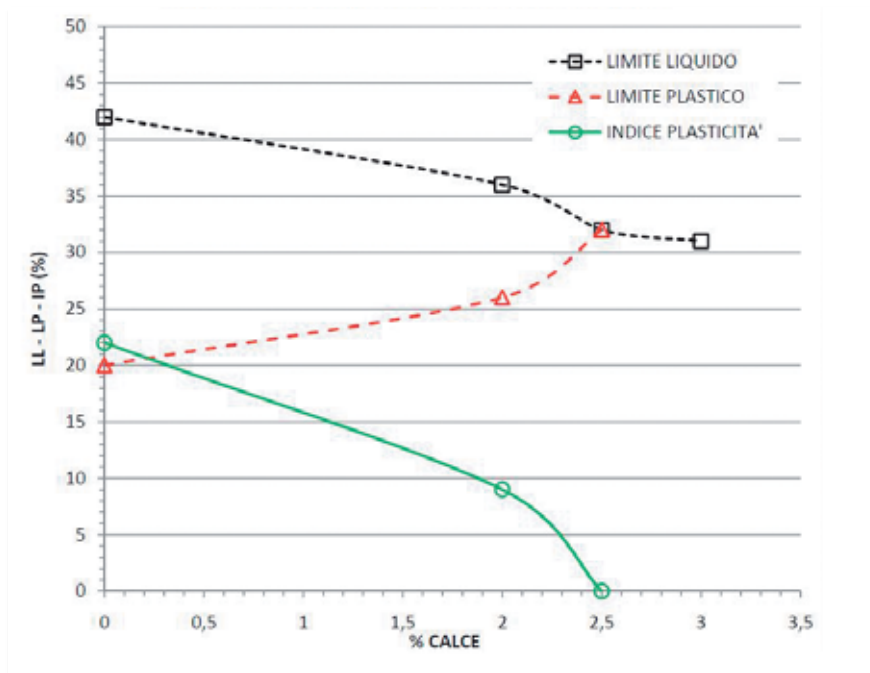


Fig. 1 Diminuzione della plasticità (LL, LP, IP) con l'aggiunta di calce

la sua affinità con l'acqua, la terra subisce quindi una granularizzazione con conseguente aumento della lavorabilità e il contemporaneo aumento della portanza. Dopo qualche giorno, inoltre, si assiste ad un ulteriore miglioramento delle caratteristiche meccaniche e al loro mantenimento nei confronti degli effetti del gelo e dell'umidità grazie allo svolgersi di reazioni pozzolaniche cementanti di lunga durata.

Chi scrive ha potuto collaborare in prima persona alla realizzazione di un'importante opera stradale nella Pianura Padana, dove la scarsità di misti granulari da cava, congiuntamente all'esuberanza di terre argillose provenienti dallo scavo delle fondazioni delle opere d'arte, ha posto l'Impresa esecutrice di fronte ad una scelta obbligata rivelatasi vincente.

Le fasi principali in cui si è articolato l'intervento sono di seguito brevemente descritte.

### 3. Caratterizzazione dei terreni

L'inizio delle lavorazioni è stato preceduto da un'accurata campionatura delle terre in posto da pozzetti geognostici uniformemente distribuiti lungo l'asse del rilevato ed interessanti l'intero spessore dell'orizzonte da trattare e dai cumuli di terra proveniente dagli scavi, stoccati separatamente in base alla natura litologica.

I campioni rappresentativi dei terreni affioranti sono stati classificati secondo i metodi correnti, ossia in base alla distribuzione granulometrica e alla plasticità, riscontrando una grande uniformità di caratteristiche lungo l'intero tracciato.

Sui campioni sono quindi state determinate le caratteristiche propedeutiche alla fattibilità del trattamento a calce, ossia:

- ▶ contenuto di sostanze organiche;
- ▶ contenuto di solfati;
- ▶ contenuto di nitrati;
- ▶ valore di blu;
- ▶ consumo iniziale di calce (C.I.C.).

L'ultimo parametro, in particolare, è un'utile guida alla valutazione del dosaggio minimo di calce che si dovrà indicativamente applicare (**Fig. 2**) e consiste in una semplice misura del pH di miscele terra-calce con dosaggi crescenti di legante. Lo scambio ionico tra calce e



Fig. 2 Miscelazione della terra con la calce

terreno comporta, infatti, un aumento della basicità del suolo trattato e, in genere, si considera che un terreno sia "stabilizzato" quando il pH della miscela terra-calce raggiunge un valore pari a 12,5.

I valori medi relativi a tutti i campioni esaminati, sono riportati nella Tabella seguente e confrontati con le prescrizioni raccomandate dalla letteratura e dai capitoli applicabili:

Tab. 1 Caratteristiche medie dei campioni esaminati

Caratteristica	Valore medio	Prescrizioni
Passante allo 0,075%	92,6	≥35%
Limite liquido	52	-
Indice plastico	24	>10
Solfati %	0,047	<0,25
Nitrati %	0,074	<0,1
Sostanze organiche %	1,10	<4
CIC %	1,1	>1,0
Valore di blu g/cm <sup>3</sup>	296,8	>200

### 4. Studio delle miscele

Nelle fasi successive dello studio di laboratorio, secondo la metodologia classica, sono state preparate n. 3 miscele con contenuto di calce pari a 2,0%, 2,5% e 3,0% sul peso del terreno secco, allo scopo di individuare il dosaggio ottimale di legante che assicuri il soddisfacimento delle prescrizioni per le caratteristiche meccaniche nel rispetto del rapporto qualità/prezzo (**Tab.2**). Per poter valutare gli effetti benefici prodotti dalla stabilizzazione tutte le prove sono state effettuate parallelamente anche su campioni di terreno tal quale. »

Tab. 2 Caratteristiche delle miscele terra-calce studiate

Miscela/Caratteristica	0%	2,0%	2,5%	3,0%
Wopt (%)	16,79	17,28	18,10	17,59
$\gamma_{d\ max}$ (t/m <sup>3</sup> )	1,792	1,731	1,727	1,719
Limite liquido	52	35	32	31
Indice plastico	24	9	np	np
IPI (%)	22	67	69	73
CBR presaturazione a 7 gg (%)	-	62	65	70
CBR postsaturazione a 7 gg (%)	-	44	69	63
CBR presaturazione a 28 gg (%)	-	77	89	76
CBR postsaturazione a 28 gg (%)	-	47	53	49
RC presaturazione a 7 gg (kPa)	568	893	906	994
RC postsaturazione a 7 gg (kPa)	-	453	820	382
RC presaturazione a 28 gg (kPa)	-	2005	1849	1853
Rigonfiamento (%)	-	1,53	0,74	0,18

Il legante utilizzato è l'ossido di Calcio ("calce viva"), per il quale è raccomandato un contenuto minimo di (CaO+MgO) pari a 84% e un contenuto di CO<sub>2</sub> ≤5%. Sui provini confezionati in laboratorio sono state determinate le seguenti caratteristiche:

- ▶ limiti di liquidità e di plasticità;
- ▶ indice di portanza immediato IPI (UNI EN 13286-47);
- ▶ indice CBR (UNI EN 13286-47) a 7 gg di maturazione (presaturazione) e a 7 gg seguiti da 4 gg di immersione in acqua (postsaturazione) e a 28 gg di maturazione seguiti da 4 gg di immersione in acqua;
- ▶ rigonfiamento lineare dei provini in immersione completa;
- ▶ resistenza a compressione ad espansione laterale libera (UNI CEN ISO/TS 17892-7) a 7 gg (presaturazione), a 7 gg più 4 gg di immersione in acqua (postsaturazione) e a 28 gg (presaturazione).

Tutti i dosaggi di calce studiati hanno permesso il raggiungimento delle prescrizioni minime per le caratteristiche meccaniche.

L'osservazione di un rigonfiamento lineare, parametro che controlla la durabilità del prodotto realizzato, superiore all'1% ha tuttavia orientato la scelta verso la miscela di progetto con il 2,5% di ossido di calcio sul peso secco del terreno.

## 5. Modalità esecutive

La sequenza operativa della realizzazione del rilevato si è svolta attraverso le seguenti fasi:

- ▶ scotico del terreno per una profondità di 20 cm, sufficiente a garantire la completa rimozione dello strato vegetale, che è stato poi riutilizzato per la protezione delle scarpate;
- ▶ stabilizzazione in sito dell'orizzonte da -0,20 a -0,50 m;
- ▶ lavorazione presso l'area di stoccaggio dei terreni di scavo, caricamento sui camion e messa in opera sul rilevato per successivi n. 5 strati di spessore massimo 30 cm;
- ▶ rullatura della miscela mediante n. 3 passate di rullo a piede di montone (Fig. 3) e n. 3 passate di rullo liscio (con "passata" si intende un'andata e un ritorno).

La posa di ogni strato successivo alla bonifica in sito è stata preceduta da una leggera erpicatura della superficie (Fig. 4) al fine di garantire l'efficace ammorsamento tra i due strati. Per le lavorazioni è stato utilizzato il seguente parco macchine:

- ▶ una fresa (Pulvimixer) Bomag MPH 120 con potenza 263 kW;
- ▶ una spandicalce Astra BM 309F dotata di spanditore a dosaggio volumetrico regolabile;
- ▶ una pala cingolata CAT 963C;
- ▶ un grader CAT 120G con potenza 93 kW;
- ▶ un'autocisterna;
- ▶ un rullo a piede di montone Dynapac CA 25 D Deutz con potenza 80 kW e carico lineare statico di 24,2 kg/cm;



Fig. 3 Rullatura con rullo a piede di montone



Fig. 4 Epicatura preliminare alla stesa dello strato successivo

- ▶ un rullo liscio vibrante Dynapac CA 30D Deutz con potenza 81 kW, frequenza di vibrazione 30 Hz e carico lineare statico di 31,4 kg/cm;
- ▶ autocarri.

## 6. Controlli in corso d'opera

La corretta impostazione del quantitativo di legante erogato dalla macchina spandicalce è stata verificata all'inizio di ogni giornata lavorativa mediante alcune semplici operazioni:

- ▶ determinazione del peso di volume del terreno in sito, mediante un comune volumometro a sabbia;
- ▶ determinazione del suo contenuto d'acqua per essiccazione con forno a microonde.

In base al peso di volume del terreno secco è stato quindi calcolato il quantitativo di calce per metro quadrato, verificato poi mediante il passaggio della macchina su un vassoio con lato 1 m.

Durante la realizzazione di ogni strato del piano di posa e del rilevato sono stati effettuati i controlli di routine per assicurare la riproduzione in cantiere dello studio di laboratorio, ossia:

- ▶ analisi delle caratteristiche granulometriche e di plasticità del terreno da trattare, per verificare la loro rispondenza con i parametri già evidenziati nel corso dell'indagine preliminare;
- ▶ determinazione del contenuto d'acqua della miscela terra/calce dopo la fresatura, per garantire un

valore compreso nell'intervallo  $\pm 2\%$  rispetto all'umidità ottima di costipamento;

- ▶ determinazione dell'Indice di Portanza Immediato (IPI) della miscela prelevata immediatamente dopo la stesa prima di autorizzare l'inizio del costipamento.

## 7. Prove in situ

La validità del trattamento eseguito è stata documentata, per ciascuno strato e ogni 2000 m<sup>2</sup> di superficie, mediante l'esecuzione di prove di carico a doppio ciclo su piastra circolare con  $\varnothing = 300$  mm (CNR n. 146 - Fig. 5) e la determinazione della densità in situ con volumometro a sabbia con apertura 150 mm (CNR n. 22). Parametri significativi per l'accettazione dei singoli strati sono stati considerati: l'umidità della miscela prima del costipamento, l'Indice di Portanza Immediato (IPI), il modulo di deformazione al primo ciclo di carico ( $M_{d1}$ ), il rapporto tra i moduli al primo e al secondo ciclo di carico ( $k = M_{d1}/M_{d2}$ ) e la percentuale di costipamento ri-



Fig. 5 Prova di carico su piastra

Tab. 3 Risultati medi delle prove effettuate in corso di lavorazione

Parametro	Valore	Prescrizioni
Umidità % della miscela	20,7	17,2 ÷ 21,2
IPI	62	>10
$M_{d1}$ al centro MPa	105,6	$\geq 40$
$k = M_{d1}/M_{d2}$	0,57	$\geq 0,41$
$M_{d1}$ al bordo MPa	104,5	$\geq 20$
$k = M_{d1}/M_{d2}$	0,51	$\geq 0,41$
% di costipamento	101,8	$\geq 98$

spetto alla densità secca massima Proctor. Si riportano (Tab. 3) i risultati medi delle prove effettuate sui quattro strati del rilevato.

## 8. Prove su campioni indisturbati

L'efficacia del trattamento eseguito è stata infine validata tramite l'esecuzione di prove geotecniche di laboratorio su campioni indisturbati prelevati dal corpo del rilevato alcuni giorni dopo la posa e fatti maturare in condizioni di laboratorio fino al 28° giorno.

Le caratteristiche meccaniche di coesione e di angolo di attrito interno in condizioni drenate sono state ricavate sottoponendo i provini a prove di taglio diretto C.D. con apparecchio di Casagrande (UNI CEN ISO/TS 17892-10 - Fig. 6) e a prove triassiali UU non consolidate non drenate (UNI CEN ISO/TS 17892-8 - Fig. 7), i cui risultati, riportati in forma grafica sul piano di Mohr-Coulomb, hanno permesso di valutare la resistenza del terreno stabilizzato in condizioni a breve e a lungo termine. I parametri così ricavati, in termini di sforzi efficaci (coesione  $c' = 25$  kPa e angolo di attrito interno  $\varphi' = 30^\circ$ ), e totali ( $c_u = 520$  kPa) hanno permesso al progettista di verificare la stabilità del corpo del rilevato sia in condizioni di rottura al piede sia di rottura generale, ottenendo in tutte le verifiche di stabilità globale coefficienti di sicurezza di gran lunga superiori al minimo richiesto dalla normativa italiana.

## 9. Considerazioni conclusive

L'esperienza qui brevemente riassunta costituisce un'ulteriore prova a favore dell'applicazione di una tecnologia che al giorno d'oggi trova ancora qualche ostacolo alla sua piena affermazione. La miscelazione con un modesto quantitativo di ossido di calcio permette di trasformare ciò

che fino a ieri era considerato un rifiuto in un materiale da costruzione valido a tutti gli effetti. Terre limo-argillose provenienti da scavo, con caratteristiche di plasticità tali da escluderne l'impiego in opere soggette a carichi, possono essere migliorate e acquisire caratteristiche meccaniche e di durabilità nei confronti degli agenti atmosferici, tali da poter competere con i migliori misti naturali.

Agli importanti vantaggi di carattere economico che il riutilizzo delle terre favorisce alle Imprese di costruzione si devono sommare i minori disagi alla viabilità indotti dalla riduzione del traffico dei mezzi adibiti al trasporto delle terre, con un innegabile effetto migliorativo dell'impatto sul territorio. ■

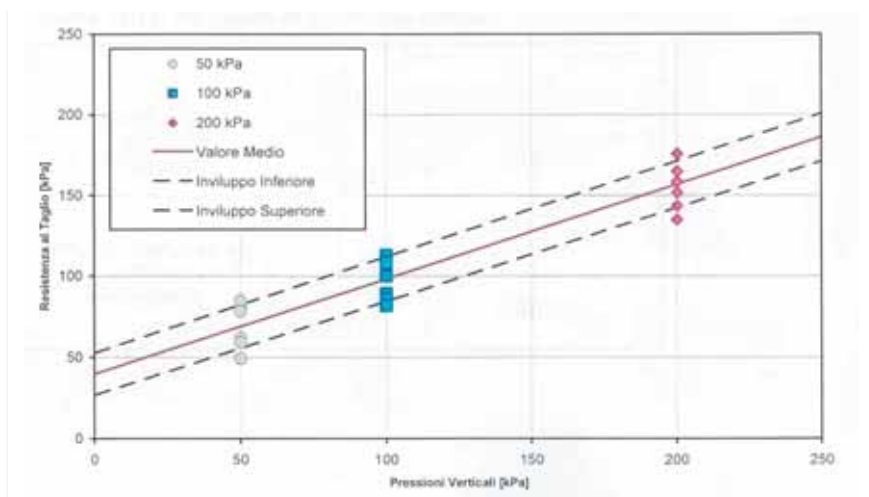


Fig. 6 Interpretazione dei risultati delle prove di taglio diretto (condizioni drenate)

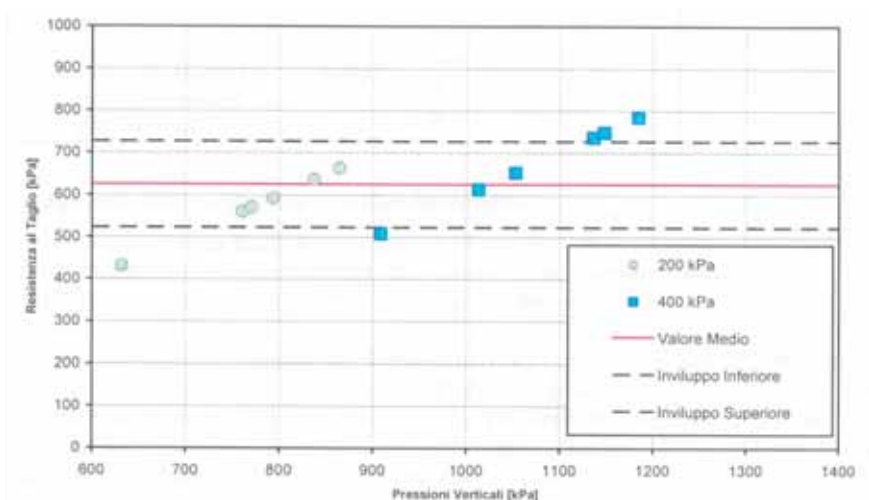


Fig. 7 Interpretazione dei risultati delle prove triassiali (condizioni non drenate)